

Damping Measurement of Thin Coating Plate Based on Half Power Method

Quanjun Zhu¹, Xiying Fan², Meigen Cao³, Qingpeng Han⁴, Jianxing Ren⁴

¹Global Energy Interconnection Research Institute, Beijing

²Research Institute of Economics and Technology, State Grid Shanxi Electric Power Company, Taiyuan Shanxi

³China Electric Power Research Institute, Beijing

⁴College of Energy and Mechanical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai

Email: 453495875@qq.com

Received: Mar. 8th, 2017; accepted: Mar. 27th, 2017; published: Mar. 31st, 2017

Abstract

The damping characteristic of thin plate coat structure was studied in this paper. Recognition algorithm of half power bandwidth method was first introduced, and then the measurement experimental system was established. The damping characteristic of titanium membrane of thin plate was recognized by the half power method. The damping characteristic of titanium membrane of thin plate coated with TiZrN was measured. The parameters of damping system were estimated. The natural frequency of coated thin plate mistuned and the damping characteristic amplified obviously.

Keywords

Half Power Method, Thin Coating Plate, Damping, Measurement

基于半功率带宽法的薄板涂层结构阻尼特性测试

朱全军¹, 樊习英², 曹枚根³, 韩清鹏⁴, 任建兴⁴

¹全球能源互联网研究院, 北京

²国网山西省电力公司经济技术研究院, 山西 太原

³中国电力科学研究院, 北京

⁴上海电力学院能源与机械工程学院, 上海

Email: 453495875@qq.com

收稿日期: 2017年3月8日; 录用日期: 2017年3月27日; 发布日期: 2017年3月31日

文章引用: 朱全军, 樊习英, 曹枚根, 韩清鹏, 任建兴. 基于半功率带宽法的薄板涂层结构阻尼特性测试[J]. 机械工程与技术, 2017, 6(1): 34-38. <https://doi.org/10.12677/met.2017.61005>

摘要

本文主要研究了薄板-涂层结构系统的阻尼特性的测试方法与典型案例。首先介绍了半功率带宽法的识别原理,在此基础上,搭建了用于半功率带宽法测试的实验系统。采用半功率带宽法识别了带有涂层的钛基薄板结构的阻尼特性。针对涂覆TiZrN涂层前后的钛基薄板进行了阻尼特性测试,获得了系统的阻尼特性参数。对比所得的测试结果表明,薄板结构涂层后系统的固有频率发生了错频,且阻尼特性明显增大。

关键词

半功率带宽法, 薄板涂层结构, 阻尼特性, 测试

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

薄板-涂层结构的阻尼特性对于涂层阻尼减振设计以及减振效果评价都有重要意义。半功率带宽法是识别机械结构系统阻尼特性的一种经典方法也是目前已经工程化使用的方法。

Christopher Blackwell[1]等基于正弦扫频基础激励,研究了利用半功率带宽法识别薄板结构的阻尼特性,胡卫强[2]等利用半功率带宽法测试了悬臂梁试件的阻尼参数,进而推导出涂层材料的损耗因子。杨智春[3]提出一种利用搭扣带的分布式粘弹性单元结构特性设计阻尼器的方法,用半功率带宽法得到阻尼器共振情况下的阻尼比。翁震平[4]将相关分析应用于时域衰减法测量结构阻尼比的数据处理中,计算出了激励频率下的结构阻尼比。

本文研究采用半功率带宽法识别薄板涂层结构的阻尼特性。首先介绍了半功率带宽法的识别原理,在此基础上,搭建了可用的实验系统。针对涂覆 TiZrN 涂层前后的钛基薄板进行了阻尼特性测试,获得了系统的阻尼特性参数,并对测试结果进行了对比分析。

2. 阻尼特性测试的半功率带宽法

可以描述机械结构系统阻尼特性的参数包括比阻尼(SDC)、相位差角(φ)、对数衰减系数(δ)、品质因子(Q)、损耗因子(η)、结构阻尼系数(g)、阻尼比(ζ)等。这些参数是从不同形式阻尼的作用机理,来表征结构系统的阻尼特性。

半功率带宽法是一种常用的测量结构阻尼特性的方法[5] [6]。以单自由度系统为例,在激励力 $F = F_0 \cos(\omega t)$ 作用下,其运动方程为:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) = F_0 \sin(\omega t) \quad (1)$$

其稳态解为

$$x = \frac{F_0}{k} \left[(1 - \gamma^2)^2 + (2\xi\gamma)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中 x 为位移峰值, γ 为激振频率与无阻尼固有频率之比, $\gamma = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{f}{f_n}$, f_n 为无阻尼固有频率,

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}。$$

由上式可知,在低频 $\gamma \leq 1$ 时,位移幅值 $x = F_0/k$, 仅为弹簧常数控制位移;在高频 $\gamma \geq 1$ 时; $x = F_0/(M\omega_0^2)$, 此时,质量 m 不是系统唯一的参数,无阻尼固有频率很接近小阻尼 ($\xi^2 \leq 1$) 系统的固有频率。在频谱图上可以得到图示曲线,它的半功率点即为幅值 X_{\max} 下降 3dB ($X_{\max}/\sqrt{2}$) 所对应曲线上的点。那么对于小

阻尼,它所对应的频率分别为 $\omega_1 = \omega_n(1-\xi)$ 和 $\omega_2 = \omega_n(1+\xi)$, 半功率带宽定义为:

$$b = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_n} = \frac{\Delta\omega}{\omega_n} = \frac{\Delta f}{f_n} = 2\xi \quad (3)$$

采用半功率带宽法,通常用阻尼比、模态损耗因子和品质因子来描述系统的阻尼特性,三者的关系为

$$\eta = 2\xi = Q^{-1} = \frac{\Delta\omega}{\omega_n} = \frac{\Delta f}{f_n} \quad (4)$$

用半功率带宽法测试机械结构的阻尼特征参数,其常用方法主要是基于试验模态测试来获得各阶模态对应的阻尼比,其主要步骤包括如下 4 个。

- 1) 在机械结构的一些不同位置点上测试相应的频响函数 $H_{ij}(\omega)$;
- 2) 获得结构系统的各阶固有频率 ω_k ;
- 3) 从频响函数中获得半功率带宽 $\Delta\omega_k$ (共振点附近幅值下降 $1/\sqrt{2}$ 倍的两个频率值之差);
- 4) 利用半功率带宽法计算得到各阶模态阻尼比,即

$$\zeta_k = \omega_k / (2\Delta\omega_k) \quad (5)$$

3. 薄板涂层结构的阻尼特性测试结果

3.1. 实验对象描述

利用半功率带宽法,测试涂层前后钛基薄板的阻尼特性。被测结构件采用悬臂方式安装。

TC4 钛基薄板其几何参数为长 100 mm,宽 80 mm,厚 1.5 mm。材料参数为,杨氏模量 $E_s = 110.32$ GPa、泊松比 $\nu = 0.31$ 、密度 $\rho_s = 4420$ kg/m³。涂敷 ZrTiN 涂层,涂层的长、宽同钛基薄板,单面涂敷,涂层的厚度为 20 微米。

3.2. 测试结果

对薄板的阻尼特性进行测试。由于能量的衰减,力锤激励对于所研究的实验结构仅能达到 3000 Hz,且仅在大约 1000 Hz 内能实现较高信噪比的测试。图 1 为预试验敲击获得的频响,从中可以看出,大约 1200 Hz 以上的测试,信噪比很低。

考虑精度限制,将测试频率范围设定为 0~1600 Hz。

3.3. 测点的频响函数

在薄板的 4 个角点分别放置电涡流位移传感器,用于获得由锤击脉冲得到响应信号。敲击点也是在 4 个角点,每敲击一次,4 个电涡流传感器均获得响应信号。敲击 4 次,将获得 16 组信号。通过对实验结果进行对比分析,当敲击点位于第 3 点时,可以获得较好的响应信号(图 2)。

3.4. 用半功率带宽法识别的阻尼比

测得的有无涂层的薄板的固有频率及阻尼比见表 1,固有频率及阻尼比都有明显不同,特别是阻尼

参数明显增大。注意到第二阶扭转模态没有测试结果，这是采用锤击法测试所造成的不足。针对上述选定参数进行了涂层阻尼减振效果验证，求解了涂层前后薄板的固有特性、模态阻尼比和谐响应。结果发生了错频、模态阻尼比显著增加、谐响应共振峰显著降低等现象，证实了选定设计参数对钛基薄板减振有明显的效果。

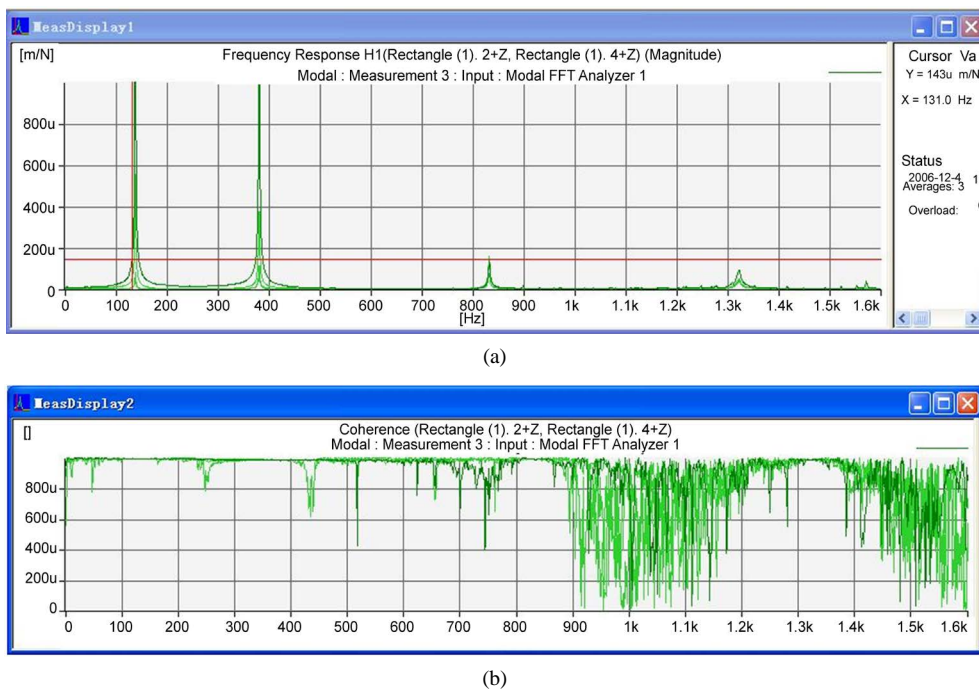


Figure 1. Frequency response of knock experiment (a) Frequency response of knock experiment; (b) Coherence function

图 1. 试验敲击获得的频响。(a) 预试验敲击获得的频响；(b) 相干函数

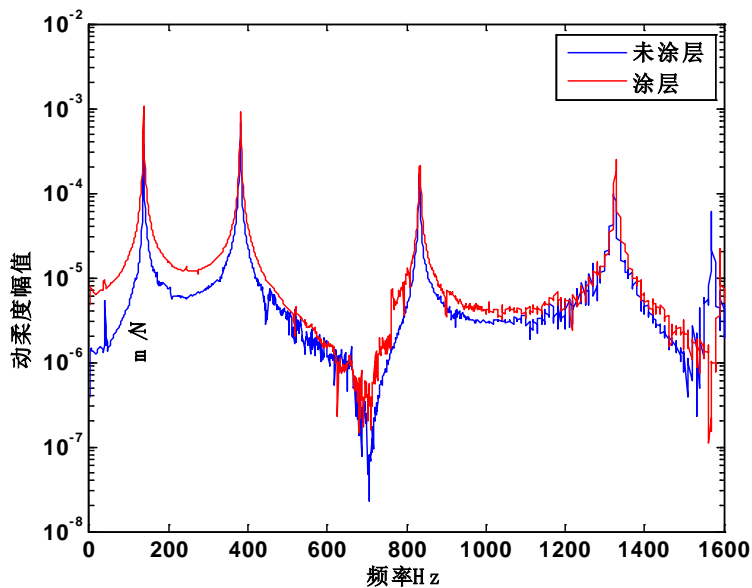


Figure 2. Response curve of test first point when the 3rd point was knocked

图 2. 敲击点 3，测试点 1 处的响应曲线

Table 1. The change of natural frequency and damping ratio of thin plate being coated
表 1. 测试获得的涂层前后薄板的固有频率及阻尼比

阶数	1 弯(1 阶)		2 弯(3 阶)		3 弯(4 阶)		
	固有频率 (Hz)	阻尼比(%)	固有频率 (Hz)	阻尼比(%)	固有频率 (Hz)	阻尼比(%)	
测点 1	未涂层	137	0.395	832	0.135	1320	0.31
	涂层	137	0.461	834	0.194	1330	0.125
测点 2	未涂层	137	0.394	832	0.135	1320	0.329
	涂层	137	0.472	835	0.202	1330	0.128
测点 3	未涂层	137	0.394	832	0.135	1320	0.302
	涂层	138	0.465	835	0.194	1330	0.131
测点 4	未涂层	137	0.394	832	0.136	1320	0.208
	涂层	137	0.469	834	0.203	1330	0.134

4. 结论

本文获得了薄板-涂层结构的阻尼特性，对于涂层阻尼减振设计以及减振效果评价都有重要意义。本文研究采用半功率带宽法识别钛基薄板结构的阻尼特性。搭建了可用于半功率带宽法测试的实验系统。通过对实验结果进行对比分析，当敲击点位于第 3 点时，可以获得较好的响应信号。

针对涂覆 TiZrN 涂层前后的钛基薄板进行了阻尼特性测试，获得了系统的阻尼特性参数，并对实验结果进行了分析。发现涂层后薄板结构系统固有频率发生变化，且阻尼特性明显增大。

致 谢

感谢国家电网科技项目(SGRI-WD-71-15-010)对本文的支持。

参考文献 (References)

- [1] Blackwell, C., Palazotto, A., George, T.J. and Cross, C.J. (2007) The Evaluation of the Damping Characteristics of a Hard Coating on Titanium. *Shock and Vibration*, **14**, 37-51.
<https://doi.org/10.1155/2007/260183>
- [2] 胡卫强, 王敏庆, 刘志宏, 马少璞, 周赤奇. 机械结合面动态特性测试与仿真[J]. 机械科学与技术, 2016, 35(2): 320-324.
- [3] 李锐锐, 虞志浩, 杨卫东, 武坤. 直升机旋翼黏弹阻尼器时域动力学建模与分析[J]. 航空学报, 2015, 36(6): 1905-1912.
- [4] 翁震平, 席亦农. 相关分析在结构阻尼比时域衰减法测量中的应用[J]. 船舶力学, 2009, 13(4): 347-350.
- [5] 杨莉, 孙庆鸿. 自由阻尼处理结构的有限元建模及声辐射分析[J]. 振动工程学报, 2004, 17(3): 306-309.
- [6] 淡丹辉, 孙利民. 结构动力有限元的模态阻尼比单元阻尼建模法[J]. 振动、测试与诊断, 2008, 28(2): 100-103.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：met@hanspub.org